



مدل‌سازی ریاضی تأثیر پارامتر ماشین‌ابزار در طرح‌ریزی ستاپ‌ها به روش جایگشت در قطعه‌های منشوری

داود منافی^۱، محمدجواد ناطق^{۲*}

۱- کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

* nategh@modares.ac.ir، ۱۴۳-۱۴۱۱۵

چکیده

سامانه‌های طرح‌ریزی فرایند به کمک رایانه پلی برای یکپارچه‌سازی سامانه‌های طراحی و تولید به کمک رایانه می‌باشند که طرح‌ریزی ستاپ‌ها مهم‌ترین قسمت آن می‌باشد. فیچرهای که درون یک ستاپ قرار می‌گیرند؛ علاوه بر مشترک بودن در جهت ابزار و رعایت قواعد ماشین‌کاری هندسی و تکنیکی، باید در ماشین‌ابزار و تجهیزات موردنیاز برای ماشین‌کاری نیز مشترک باشند. در صورتی که فیچرهای درون یک ستاپ به تجهیزات یا ماشین‌ابزارهای متفاوتی نیاز داشته باشند؛ باید طرح‌ریزی ستاپ‌ها دوباره انجام شود. از این رو ضروری است که تأثیر تجهیزات ماشین‌کاری از جمله ماشین‌ابزار حین طرح‌ریزی ستاپ‌ها نیز در نظر گرفته شود تا نیازی به طرح‌ریزی مجدد ستاپ‌ها نباشد. بنابراین در این مقاله چگونگی اضافه کردن پارامتر ماشین‌ابزار به روش طرح‌ریزی ستاپ‌ها بر پایه جایگشت مطالعه و روابط ریاضی حاکم بر آن ارائه شده است. همچنین بعد از آوردن روابط ریاضی، الگوریتم طرح‌ریزی ستاپ‌ها بر پایه جایگشت برای این کار توسعه داده و در برنامه پایتون اوسی‌سی پیاده‌سازی و روی یک قطعه کار آزمایش گردیده است.

کلید واژه‌گان: طرح‌ریزی فرایند به کمک رایانه، طرح‌ریزی ستاپ‌ها، ماشین‌ابزار، مدل‌سازی ریاضی، جایگشت

Mathematical modeling for effect of machine tools in setup planning method based on permutation for prismatic parts

Davood Manafi, Mohammad Javad Nategh*

Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

* P.O.B. 14115-143 Tehran, Iran, nategh@modares.ac.ir

ABSTRACT

Setup planning is an important function in CAPP systems which is a bridge for integration of CAD and CAPP systems. All features in a specific setup must have the same TAD and satisfy the technical and geometrical rules. Also, these features must be machined in one machine tool. Setup planning must be regenerated if features in a specific setup need different equipment and machine tools. So, it is important for machine tools to be considered during the setup planning to avoid the setup replanning. In this paper, the effect of machine tools on the setup planning was studied and the mathematical formulas were introduced for this purpose. Finally, setup planning method was developed based on these mathematical formulas. The algorithm was programmed and verified in PythonOCC.

Keywords: CAPP, Machine Tools, Mathematical modeling, Permutation, Setup Planning.

کرده‌اند. لبه‌ها در گراف ارتباط تلرانسی را نشان می‌دهند که به‌عنوان قواعد ماشین‌کاری در طرح‌ریزی ستاپ‌ها استفاده می‌شوند. هبال و مهتا [۴] به یکپارچه‌سازی طرح‌ریزی ستاپ‌ها با طراحی قیدوبند پرداخته‌اند. آن‌ها با گروه‌بندی مرحله به مرحله به طرح‌ریزی ستاپ مناسبی دست پیدا کرده‌اند. سان و همکاران [۵] روش تئوری گراف را برای طرح‌ریزی ستاپ‌ها بهبود داده‌اند. آن‌ها از ماتریس درجه نامتشابهی برای اعمال یکسان بودن ماشین‌ابزار بین فیچرهای درون یک ستاپ استفاده کرده‌اند. عابدینی و همکاران [۶، ۷] روشی برای طرح‌ریزی ستاپ‌های قطعات منشوری معرفی کرده‌اند که در آن سطوح مرجع نیز در نظر گرفته می‌شود. آن‌ها برای این کار دو اصطلاح سطح کنترل و سطح پیرو را معرفی نموده‌اند. منافی [۸] روشی برای طرح‌ریزی ستاپ‌ها بر پایه جایگشت ارائه داده است که در آن پارامترهای

۱- مقدمه

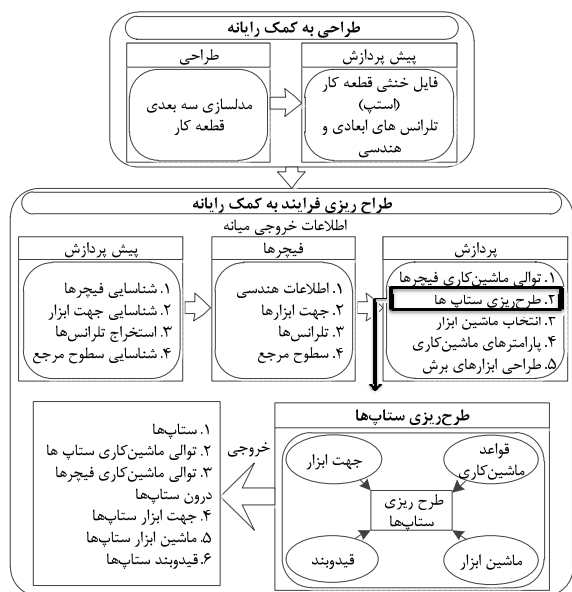
طرح‌ریزی فرایند به کمک رایانه پلی برای یکپارچه‌سازی سامانه‌های طراحی و تولید به کمک رایانه می‌باشد که طرح‌ریزی ستاپ‌ها مهم‌ترین قسمت آن است. وظایف طرح‌ریزی ستاپ‌ها شامل شناسایی جهت ابزار، شناسایی سطوح مرجع ماشین‌کاری، تعیین ستاپ‌ها، تعیین توالی ستاپ‌ها، تعیین توالی ماشین‌کاری فیچرها درون هر ستاپ، طراحی قیدوبند و/یا راهنمایی برای طراحی قیدوبند برای هر ستاپ می‌باشد [۱، ۲].

پژوهش‌های انجام شده در زمینه‌ی طرح‌ریزی ستاپ‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند که دسته‌ی اول به ارائه روش طرح‌ریزی ستاپ‌ها و دسته‌ی دوم به بررسی پارامترهای مؤثر بر طرح‌ریزی ستاپ‌ها می‌پردازند. در دسته‌ی اول، ژانگ و لین [۳] روش گراف ترکیبی را برای طرح‌ریزی ستاپ‌ها معرفی

Please cite this article using:

N. Surname, Title Title Title Title Title Title Title, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference*, Vol. 15, No. 13, pp. 139-143, 2015 (in Persian فارسی)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:



شکل ۱ یکپارچه‌سازی سامانه‌های طراحی و طرح‌ریزی فرایند

فیچره‌های درون یک ستاپ باید روی یک ماشین ابزار ماشین کاری شوند [۱۲]. بنابراین فیچرهایی که به تجهیزات و ماشین ابزار متفاوتی نیاز دارند نباید درون یک ستاپ قرار داده شوند. همچنین برای هر ستاپ نیز باید ماشین ابزارهای جایگزین تعیین شود تا در صورت خرابی ماشین ابزار انتخاب شده، ماشین ابزار دیگری جایگزین آن گردد.

طراحی قیدوبند مناسب برای هر ستاپ ضروری است؛ در غیر این صورت طرح‌ریزی ستاپ‌ها باید دوباره انجام گیرد. یکپارچه‌سازی طرح‌ریزی ستاپ‌ها با قیدوبند یکی از چالش‌های پیش روی سامانه‌های کپ می‌باشد که در پژوهش‌های آینده به آن پرداخته خواهد شد.

۳-۱- توالی ماشین کاری فیچرها

توالی ماشین کاری فیچرها براساس قواعد ماشین کاری تکنیکی و هندسی تعیین می‌گردد. قواعد ماشین کاری تکنیکی براساس دانش فنی بین فیچرها به وجود می‌آیند. برخی از قواعد ماشین کاری تکنیکی بدین صورت می‌باشند: TR_1 = اگر سطوح تکیه‌گاه یا بست موردنیاز برای ماشین کاری فیچر ۱، با ماشین کاری فیچر ۲ از بین رود؛ آن‌گاه فیچر ۱ باید زودتر از فیچر ۲ ماشین کاری شود [۱۵].

TR_2 = اگر سطح موقعیت‌دهی ابزار فیچر ۱ با ماشین کاری فیچر ۲ از بین رود؛ آن‌گاه فیچر ۱ باید زودتر از فیچر ۲ ماشین کاری شود [۱۷].

TR_3 = اگر سطوحی از فیچر ۱، جزء سطوح مرجع فیچر ۲ باشد؛ آن‌گاه فیچر ۱ زودتر از فیچر ۲ ماشین کاری می‌شود [۱۸].

قواعد ماشین کاری هندسی زمانی بین فیچرها ایجاد می‌گردد که فیچرها با یکدیگر تداخل هندسی داشته باشند. در تداخل‌های هندسی، فیچرها تنها در برخی لبه‌ها با یکدیگر اشتراک دارند. تداخل‌های هندسی به دو نوع سطحی و حجمی تقسیم می‌شوند. برای تداخل‌های هندسی سطحی، قاعده‌ی ماشین کاری ۱ رعایت می‌شود که در آن فیچر پایه، فیچری است که در آن همه‌ی لبه‌های مشترک در یک سطح فیچر قرار دارد. برای تداخل‌های حجمی نیز قاعده ماشین کاری ۲ رعایت می‌شود [۸].

طرح‌ریزی ستاپ‌ها، حین طرح‌ریزی ستاپ‌ها در نظر گرفته می‌شود.

برخی دیگر از پژوهشگرها نیز با استفاده از هوش مصنوعی و تعریف تابع‌های هدف مثل کمترین زمان/هزینه به حل مسائل طرح‌ریزی ستاپ‌ها پرداخته‌اند [۹-۱۱]. در اکثر این روش‌ها، تنها قواعد ماشین کاری در نظر گرفته شده و به دیگر پارامترهای ستاپ از جمله قیدوبند توجهی نشده است.

در دسته دوم، ژانگ و همکاران [۱۲] هفت قاعده برای طرح‌ریزی ستاپ‌ها بیان کرده‌اند که یکی از این قواعد، یکسان بودن ماشین ابزار فیچره‌های درون یک ستاپ می‌باشد. هوانگ و خو [۱۳] چهار شرط برای طرح‌ریزی ستاپ‌ها به زبان ریاضی بیان کرده‌اند که شامل ماشین کاری تمام سطوح قطعه کار، یکسان بودن جهت ابزار فیچره‌های درون ستاپ با جهت ابزار ستاپ، نبودن سطح جاساز بین سطوح ماشین کاری ستاپ و انتخاب سطوح جاساز از بین سطوح ماشین کاری شده می‌باشند. وانگ و همکاران [۱۴] پنج قاعده‌ی هندسی براساس حجم ماشین کاری فیچرها برای تعیین توالی ماشین کاری فیچرها معرفی کرده‌اند. آن‌ها از این قواعد برای تعیین توالی ماشین کاری فیچرها و ستاپ‌ها استفاده نموده‌اند. لیو و وانگ [۱۵] به بررسی تعیین توالی فیچرها و طرح‌ریزی ستاپ‌ها براساس قواعد ماشین کاری هندسی و تکنیکی پرداخته‌اند.

در بیشتر پژوهش‌های انجام شده، به پارامتر ماشین ابزار کمتر توجه شده است؛ به طوری که به بیان تأثیر این پارامتر بسنده و کمتر به ارائه روشی برای اعمال آن در طرح‌ریزی ستاپ‌ها پرداخته شده است. همچنین در برخی پژوهش‌ها پارامتر ماشین ابزار حین طرح‌ریزی ستاپ‌ها در نظر گرفته نشده است. از این رو در این مقاله به ارائه روشی پرداخته می‌شود که پارامتر ماشین ابزار حین طرح‌ریزی ستاپ‌ها در نظر شود. همچنین روابط ریاضی حاکم بر آن نیز بیان می‌شود.

۲- یکپارچه‌سازی سامانه‌های کد و کپ^۲

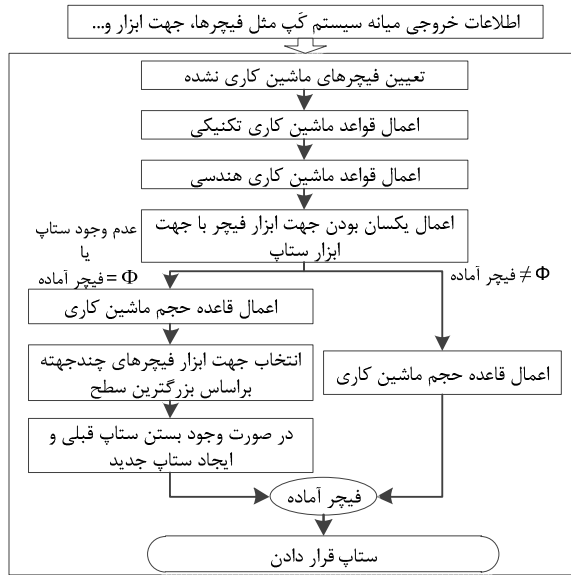
نحوه یکپارچه‌سازی سامانه‌های کد و کپ در شکل ۱ نشان داده شده است. ابتدا قطعه کار در سامانه‌های کد طراحی و سپس اطلاعات طراحی قطعه کار به سیستم کپ ارسال می‌شود. اطلاعات طراحی یک سری اطلاعات سطح پایینی هستند که برای تولید مناسب نیستند؛ از این رو پیش‌پردازش‌هایی مثل شناسایی فیچرها و جهت ابزار روی این اطلاعات انجام می‌گیرد و این اطلاعات را به اطلاعات تولیدی مثل فیچرها تبدیل می‌کند (خروجی میانه در شکل ۱). این اطلاعات تولیدی به قسمت پردازش ارسال می‌شود تا طرح‌ریزی فرایند برای قطعه کار صورت گیرد.

در این مقاله از روش گراف-مینا [۱۶] برای شناسایی فیچرها استفاده و ده نوع فیچر ماشین کاری شناسایی شده است (جدول ۱). همچنین هر فیچر با توجه به نوعش، تعداد معینی سطح دارد که به این تعداد سطوح، "تعداد سطوح تشکیل دهنده‌ی فیچر"^۲ گفته می‌شود. از $NSSF$ برای شناسایی قواعد ماشین کاری هندسی استفاده می‌شود [۸].

۳- پارامترهای مؤثر بر طرح‌ریزی ستاپ‌ها

همان‌طور که در شکل ۱ مشخص است طرح‌ریزی ستاپ‌ها به پارامترهایی همچون قواعد ماشین کاری، جهت ابزار فیچرها، ماشین ابزار و طراحی قیدوبند بستگی دارد و همه‌ی آن‌ها باید هنگام طرح‌ریزی ستاپ‌ها در نظر گرفته شوند.

1. CAD
2. CAPP
3. Number of Constituting Surfaces of Feature



شکل ۲ طرح ریزی ستاپ ها به روش جایگشت برای یک مرحله

قواعد ماشین کاری هندسی اعمال می شود تا فیچرهایی مشخص شوند که آماده ی ماشین کاری هستند. حال اگر ستاپی قبلاً ایجاد شده باشد جهت ابزار فیچر با جهت ابزار ستاپ مقایسه می شود و اگر یکی از جهت ابزارهای فیچر با جهت ابزار ستاپ مشترک باشد فیچر درون ستاپ قرار داده می شود. در غیر این صورت اگر جهت ابزار فیچر با جهت ابزار ستاپ مشترک نباشد یا ستاپی قبلاً ایجاد نشده باشد (مرحله اول) ستاپی ایجاد می شود که جهت ابزار ستاپ با فیچر آماده برای ماشین کاری یکسان باشد و فیچر درون ستاپ ایجاد شده قرار داده می شود. این مراحل تا تعیین ستاپ همگی فیچرها تکرار می شوند. به عبارت دیگر این مراحل به تعداد فیچرها تکرار خواهند شد.

برای اضافه کردن تأثیر ماشین ابزار در این روش، شرط مشترک بودن ماشین ابزار بین فیچرها و ستاپ نیز باید به مجموع شرایط اضافه شود. در شکل ۳ نحوه ی اضافه شدن این پارامتر به روش طرح ریزی ستاپ ها به روش جایگشت نشان داده شده است. همان طور که در شکل ۳ مشخص است در این حالت فیچری در ستاپ i قرار می گیرد که هر دو شرط مشترک بودن جهت ابزار و ماشین ابزار فیچر را با جهت ابزار و ماشین ابزار ستاپ داشته باشد. برای این که فیچری شرط لازم برای قرارگیری در ستاپ i را از نظر مشترک بودن ماشین ابزار را داشته باشد کافی است رابطه (۱) برقرار باشد؛ در غیر این صورت فیچر براساس شرط ماشین ابزار درون ستاپ قرار نمی گیرد.

$$(MT_{setup})_i \cap MT_F \neq \emptyset \quad (1)$$

که در آن MT_F ماشین ابزارهای فیچر، MT_{setup} ماشین ابزارهای ستاپ و i شماره ستاپ می باشد.

همان طور که گفته شد در این روش ستاپ برپایه ی فیچری ایجاد می شود که آماده ماشین کاری است. بنابراین موقع ایجاد ستاپ، ماشین ابزارهای فیچر آماده به ستاپ نسبت داده می شود ($j=1$). در مراحل بعدی که فیچرهای بیشتری درون ستاپ قرار داده می شود؛ ماشین ابزارهای ستاپ بروز رسانی می شوند که این بروز رسانی از طریق اشتراک گیری بین ماشین ابزارهای فیچرها و ستاپ انجام می گیرد. با این کار علاوه بر در نظر گرفتن ماشین ابزار حین طرح ریزی ستاپ ها، برای آن ها ماشین ابزار و ماشین ابزارهای جایگزین نیز تعیین می گردد. رابطه ی ریاضی مربوطه در رابطه ی (۲) آورده شده است.

جدول ۱ فیچرهای ماشین کاری

نوع فیچر	NSSF	نوع فیچر	NSSF
روتراشی	۱	پله	۲
شیار سرتاسری	۳	شیار نیمه کور	۴
شیار کور	۵	پاکت ۲-طرفه	۳
پاکت ۳-طرفه	۴	پاکت ۴-طرفه	۵
سوراخ سرتاسری	۲	سوراخ کور	۳

GR_1 = اگر فیچرهای F_1 و F_2 تداخل هندسی سطحی داشته باشند و F_1 پایه باشد؛ آنگاه فیچر F_1 زودتر از فیچر F_2 ماشین کاری می شود.

GR_2 = اگر فیچرهای F_1 و F_2 تداخل حجمی داشته باشند و تعداد سطوح فیچر F_1 بیشتر از تعداد استاندارد سطح آن فیچر باشد؛ آنگاه فیچر F_1 زودتر از فیچر F_2 ماشین کاری می شود.

برای آن دسته از فیچرها که تداخل های هندسی و تکنیکی ندارند و در نتیجه نمی توان برای آن ها توالی ماشین کاری در نظر گرفت، از قواعد ماشین کاری استفاده می شود که رعایت کردن آن ها سبب تولید محصولی با کیفیت بهتر و زمان تولیدی کم می شود. دو قاعده زیر برای فیچرهای بدون تداخل رعایت می شود [۱۵،۱۴].

OR_1 = فیچرهای که ابزار مشابهی دارند کنار یکدیگر قرار داده می شوند.

OR_2 = فیچری که حجم ماشین کاری بیشتری دارد زودتر ماشین کاری می شود.

۳-۲- جهت ابزار فیچرها

جهت ابزار برای یک فیچر، جهتی است که ابزار بتواند بدون هیچ مانعی به تمام نقاط فیچر در قطعه کار دسترسی پیدا کند. فیچرها با توجه به جهت ابزارشان به دو نوع تک جهته و چندجهته تقسیم می شوند. همگی فیچرهایی که درون یک ستاپ قرار می گیرند؛ باید در یک جهت ابزار مشترک باشند که به این جهت ابزار مشترک، جهت ابزار ستاپ گفته می شود [۱۹،۳].

فیچرهای یک جهته در ستاپی قرار می گیرند که جهت ابزار ستاپ با جهت ابزار آن یکسان باشد. همچنین برای آن ها فقط عدم تداخل ابزار با قطعه کار و تجهیزات ماشین کاری بررسی می شود. این در حالی است که برای فیچرهای چندجهته علاوه بر بررسی عدم تداخل ابزار، تعیین جهت ابزار مناسب نیز مطرح می باشد؛ زیرا با انتخاب هر یک از جهت های ابزار فیچر چندجهته، فیچر می تواند در ستاپ های متفاوتی قرار گیرد. جهت ابزار مناسب برای فیچرهای چند جهته با توجه به پارامترهایی همچون ارتباط با دیگر فیچرها، کمینه شدن تعداد ستاپ ها، تداخل با قیدوبند/سایر اجزای ماشین ابزار و بیشترین پایداری فیچر در آن راستا تعیین می شود.

۴- روش طرح ریزی ستاپ ها با در نظر گرفتن ماشین ابزار

در روش طرح ریزی ستاپ ها به روش جایگشت، طرح ریزی ستاپ ها مرحله به مرحله انجام و پارامترهای مؤثر بر آن، حین طرح ریزی ستاپ ها در نظر گرفته می شوند. شکل شماتیکی این روش در شکل ۲ آورده شده است. به دلیل اینکه پارامترها حین طرح ریزی ستاپ ها در نظر گرفته می شود از مزیت هایی همچون عدم ایجاد سبک بین ستاپ ها و انتخاب خودکار جهت ابزار برای فیچرهای چندجهته برخوردار می باشد. همچنین قابلیت توسعه دادن آن نیز از دیگر مزیت های این روش می باشد. در این روش توالی ماشین کاری فیچرها و ستاپ ها همراه با ایجاد ستاپ ها تعیین می گردد [۸].

روند کلی در این روش بدین صورت است که در هر مرحله ابتدا بین فیچرهایی که نیاز به ماشین کاری دارند، قواعد ماشین کاری تکنیکی و سپس

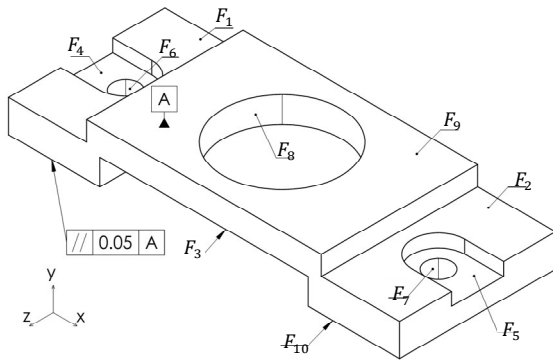
- ه- برو به مرحله ۳.
- ۸- ستاپ‌های قبلاً ایجاد شده است در نتیجه مراحل ۸-ا تا ۸-ز را اجرا کن.
- ا- فیچرهای از RF_2 را شناسایی کن که جهت ابزاری مشترکی با جهت ابزار ستاپ فعلی دارد و در RF_3 ذخیره کن.
- ب- فیچرهای از RF_3 را شناسایی که ماشین‌ابزارهای مشترکی با ماشین‌ابزارهای ستاپ فعلی دارد و در RF_4 ذخیره کن.
- ج- اگر $RF_4 = \Phi$ آنگاه مراحل ۷-ا تا ۷-ه انجام بده. (فیچر آماده‌ی برای قرارگیری در ستاپ وجود ندارد)
- د- فیچری را شناسایی کن که بیشترین حجم ماشین‌کاری را بین فیچرهای RF_4 دارد و در RF ذخیره کن.
- ه- RF را در ستاپ قرار بده
- و- اشتراک ماشین‌ابزارهای ستاپ را با ماشین‌ابزارهای فیچر RF حساب کن و این اشتراک را به‌عنوان ماشین‌ابزارهای ستاپ در نظر بگیر (بروز رسانی ماشین‌ابزارهای ستاپ).
- ز- برو به مرحله ۳.
- ۹- پایان.

۵- آزمایش مدل

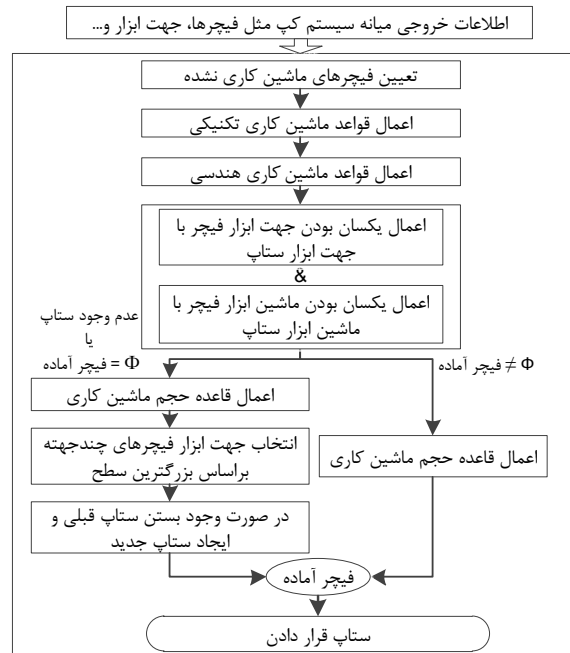
برای آزمایش الگوریتم پیشنهادی از قطعه‌کار شکل ۴ استفاده شده است. شماره فیچرهای که نیاز به ماشین‌کاری دارند نیز در شکل ۴ آورده شده است. همچنین جهت ابزار فیچرها، نتایج حاصل از قواعد ماشین‌کاری و ماشین‌ابزارهای کاندید برای ماشین‌کاری فیچرها در جدول ۲ آورده شده است. M_1 ماشین‌ابزار فرز سه محوره CNC، M_2 فرز سه محوره و M_3 دریل می‌باشد.

طرح‌ریزی ستاپ‌ها بدون در نظر گرفتن ماشین‌ابزار در شکل ۵-الف) و طرح‌ریزی مجدد ستاپ‌ها با در نظر گرفتن ماشین‌ابزار با روش پیشنهادی در شکل ۵-ب) آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تأثیر ماشین‌ابزار روی ستاپ‌ها هم زمان با طرح‌ریزی ستاپ‌ها اعمال شده و فیچرهایی که به ماشین‌ابزار متفاوتی نیاز دارند در ستاپ‌های متفاوتی قرار داده شده‌اند. برای مثال فیچرهای F_9 و F_7 که ماشین‌ابزار متفاوتی نسبت به فیچرهای درون ستاپ‌ها ۳ شکل ۵-الف) دارند از این ستاپ‌ها جدا و در ستاپ ۴ شکل ۵-ب) جای داده شده‌اند.

با روش پیشنهادی علاوه بر اعمال تأثیر ماشین‌ابزار روی ستاپ‌ها، ماشین‌ابزار آن‌ها نیز مشخص می‌شود. ماشین‌ابزارهای هر یک از این ستاپ‌ها که به کمک روش پیشنهادی تعیین شده‌اند نیز در شکل ۵-ب) آورده شده است. در این روش برای ستاپ‌ها، تمام ماشین‌ابزارهای ممکن تعیین می‌شوند.



شکل ۴ قطعه‌کار آزمایش شده و شماره فیچرها



شکل ۳ طرح‌ریزی ستاپ‌ها به روش جایگشت با در نظر گرفتن ماشین‌ابزار برای یک مرحله

$$(MT_{setup})_i = \begin{cases} MT_F & j = 1 \\ \prod_{j=1}^{m_i} (MT_F)_j & j \neq 1 \end{cases} \quad (2)$$

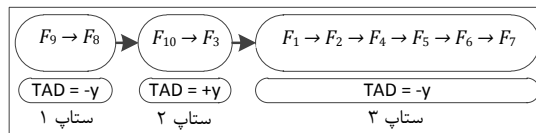
که در آن j گام‌های درون ستاپ i و m_i تعداد فیچرهای درون ستاپ i می‌باشند.

الگوریتم توسعه داده شده برای طرح‌ریزی ستاپ‌ها بر پایه‌ی جایگشت با در نظر گرفتن پارامتر ماشین‌ابزار بدین صورت می‌باشد:

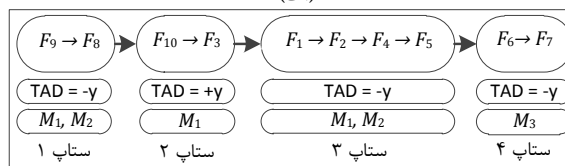
- ۱- شروع.
- ۲- اطلاعات مربوط به فیچرها، جهت ابزارها، قواعد ماشین‌کاری تکنیکی، قواعد ماشین‌کاری هندسی، حجم ماشین‌کاری فیچرها و ماشین‌ابزارها را دریافت کن.
- ۳- فیچرهای که نیاز به ماشین‌کاری دارند را شناسایی کن و در F ذخیره کن.
- ۴- اگر $F = \Phi$ برنامه را تمام کن.
- ۵- روی F قواعد ماشین‌کاری تکنیکی را اعمال کن و آن‌هایی را در RF_1 ذخیره کن که از این لحاظ، آماده ماشین‌کاری هستند.
- ۶- روی فیچرهای RF_1 قواعد ماشین‌کاری هندسی را اعمال کن و آن‌های را در RF_2 ذخیره کن که از این لحاظ آماده ماشین‌کاری هستند.
- ۷- اگر تاکنون ستاپ ایجاد نشده است/ نیاز به ایجاد ستاپ جدید می‌باشد مراحل ۷-ا تا ۷-ه را اجرا کن
- ا- فیچری که بیشترین حجم ماشین‌کاری بین RF_2 دارد را شناسایی و در RF ذخیره کن.
- ب- اگر RF چندجهته باشد راستایی را به عنوان جهت ابزار فیچر انتخاب کن که در آن راستا بیشترین مساحت سطح را دارد.
- ج- ستاپی هم‌جهت با RF ایجاد کن و فیچر RF را در آن قرار بده.
- د- ماشین‌ابزارهای ستاپ ایجاد شده را همان ماشین‌ابزارهای فیچر RF در نظر بگیر.

۷- مراجع

- [1] N. Xu, S. H. Huang, Y. K. Rong, Automatic setup planning: current state-of-the-art and future perspective, *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, Vol. 11, No. 2, pp. 193-208, 2007.
- [2] X. Xu, L. Wang, S. T. Newman, Computer-aided process planning - A critical review of recent developments and future trends, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 24, No. 1, pp. 1-31, 2010.
- [3] H.-C. Zhang, E. Lin, A hybrid-graph approach for automated setup planning in CAPP, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 15, No. 1, pp. 89-100, 1999.
- [4] S. S. Hebbal, N. K. Mehta, Setup planning for machining the features of prismatic parts, *International Journal of Production Research*, Vol. 46, No. 12, pp. 3241-3257, 2008.
- [5] X. Sun, X. Chu, Y. Su, C. Tang, A new directed graph approach for automated setup planning in CAPP, *International Journal of Production Research*, Vol. 48, No. 22, pp. 6583-6612, 2010.
- [6] V. Abedini, M. Shakeri, M. H. Siahmargouei, H. Baseri, Automated process planning system: A new method for setup planning and a mathematical model for fixture design, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, pp. 1849-1859, 2013.
- [7] V. Abedini, M. Shakeri, M. H. Siahmargouei, Automatic Machining Setup Generation for Prismatic Components, *Advanced Materials Research*, Vol. 445, pp. 953-958, 2012.
- [8] D. Manafi, *Development of an automatic system for setup planning and determining the sequence of operation in machining parts*, M.S. Thesis, Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, 2015. (In Persian)
- [9] M. Salehi, A. Bahreinejad, Optimization process planning using hybrid genetic algorithm and intelligent search for job shop machining, *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 22, No. 4, pp. 643-652, 2011.
- [10] S. Kafashi, M. Shakeri, V. Abedini, Automated setup planning in CAPP: a modified particle swarm optimisation-based approach, *International Journal of Production Research*, Vol. 50, No. 15, pp. 4127-4140, 2011.
- [11] N. Cai, L. Wang, H.-Y. Feng, GA-based adaptive setup planning toward process planning and scheduling integration, *International Journal of Production Research*, Vol. 47, No. 10, pp. 2745-2766, 2009.
- [12] Y. Zhang, W. Hu, Y. Rong, D. W. Yen, Graph-based set-up planning and tolerance decomposition for computer-aided fixture design, *International Journal of Production Research*, Vol. 39, No. 14, pp. 3109-3126, 2001.
- [13] S. H. Huang, N. Xu, Automatic set-up planning for metal cutting: an integrated methodology, *International Journal of Production Research*, Vol. 41, No. 18, pp. 4339-4356, 2003.
- [14] L. Wang, N. Cai, H. Y. Feng, Z. Liu, Enriched machining feature-based reasoning for generic machining process sequencing, *International Journal of Production Research*, Vol. 44, No. 8, pp. 1479-1501, 2006.
- [15] Z. Liu, L. Wang, Sequencing of interacting prismatic machining features for process planning, *Computers in Industry*, Vol. 58, No. 4, pp. 295-303, 2007.
- [16] S. Joshi, T. C. Chang, Graph-based heuristics for recognition of machined features from a 3D solid model, *Computer-Aided Design*, Vol. 20, No. 2, pp. 58-66, 1988.
- [17] A. C. Lin, S.-Y. Lin, D. Diganta, W. F. Lu, An integrated approach to determining the sequence of machining operations for prismatic parts with interacting features, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 73, No. 1-3, pp. 234-250, 1998.
- [18] Y. F. Zhang, A. Y. C. Nee, S. K. Ong, A hybrid approach for set-up planning, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 10, No. 3, pp. 183-190, 1995. English
- [19] N. Cai, L. Wang, H.-Y. Feng, Adaptive setup planning of prismatic parts for machine tools with varying configurations, *International Journal of Production Research*, Vol. 46, No. 3, pp. 571-594, 2008.



(الف)



(ب)

شکل ۵ طرح ریزی ستاپ‌ها (الف) بدون در نظر گرفتن ماشین ابزار (ب) با در نظر گرفتن ماشین ابزار

جدول ۲ جهت ابزار، قواعد ماشین کاری و ماشین ابزارهای فیچرها

شماره فیچر	TAD	قواعد هندسی	قواعد تکنیکی	ماشین ابزار کاندید
F ₁	x, -y, ±z	بعد از F ₉	قبل از F ₃	M ₁ , M ₂
F ₂	-x, -y, ±z	بعد از F ₉	قبل از F ₃	M ₁ , M ₂
F ₃	y, ±z	بعد از F ₁₀	بعد از F ₈	M ₁ , M ₂
F ₄	-y	بعد از F ₁	-	M ₁ , M ₂
F ₅	-y	بعد از F ₂	-	M ₁ , M ₂
F ₆	±y	بعد از F ₄	-	M ₃
F ₇	±y	بعد از F ₅	-	M ₃
F ₈	±y	بعد از F ₉ و F ₃	-	M ₁
F ₉	±x, -y, ±z	-	-	M ₁ , M ₂
F ₁₀	±x, y, ±z	-	بعد از F ₉	M ₁ , M ₂

این کار تعیین ماشین ابزارهای جایگزین را آسان می‌کند. برای مثال در شکل ۵- (ب) دو ماشین ابزار برای ستاپ‌ها ۱ و یک ماشین ابزار برای ستاپ‌ها ۲ تعیین شده است. لازم به ذکر می‌باشد که برای ستاپ‌هایی که بیش از یک ماشین ابزار تعیین شده است یکی از آن‌ها به عنوان ماشین ابزار اصلی انتخاب و بقیه به عنوان ماشین ابزار جایگزین معرفی می‌شود.

۶- نتیجه گیری

طرح ریزی ستاپ‌ها هسته اصلی سامانه‌های کب می‌باشد که به جهت ابزار، قواعد ماشین کاری، ماشین ابزار و طراحی قیدوبند وابسته است. در این مقاله چگونگی اضافه شدن پارامتر ماشین ابزار به طرح ریزی ستاپ بر پایه جایگشت بحث و روابط ریاضی حاکم بر آن بیان شده است. روش پیشنهادی به طور هم زمان ماشین ابزارهای مناسب برای ستاپ‌ها را از بین ماشین ابزارهای فیچر انتخاب و تأثیر ماشین ابزار را روی طرح ریزی ستاپ‌ها اعمال می‌کند؛ به طوری که اگر فیچرهایی دارای جهت ابزار مشترک باشند اما در ماشین ابزار اشتراکی نداشته باشند درون یک ستاپ قرار داده نمی‌شوند. با این کار از طرح ریزی مجدد ستاپ‌ها جلوگیری می‌شود. در این روش تمام ماشین ابزارهای ممکن برای ستاپ انتخاب می‌شود و سپس از بین این ماشین ابزارها، یکی به عنوان ماشین ابزار اصلی ستاپ انتخاب و بقیه به عنوان ماشین ابزار جایگزین معرفی می‌شوند. علاوه بر به دست آوردن روابط ریاضی، الگوریتم طرح ریزی ستاپ‌ها بر پایه جایگشت برای این کار توسعه داده شده است. این الگوریتم در برنامه پایتون اوسی پی پیاده سازی و روی یک قطعه کار آزمایش شده است.